

# Planificación Dinámica para el Mantenimiento Eficiente de Locaciones Petroleras

A. Villagra, C. Montenegro, E. de San Pedro, M. Lasso, D. Pandolfi

Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Caleta Olivia - LabTEm

Ruta 3 Acceso Norte s/n

(9011) Caleta Olivia - Santa Cruz - Argentina

{avillagra,cmontenegro,edesanpedro,mlasso,dpandolfi}@uaco.unpa.edu.ar

## Resumen

En este trabajo se describe en forma breve una de las aplicaciones que en la actualidad se están desarrollando dentro de la línea de investigación "Metaheurísticas" (MHs) del Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEm). El objetivo principal de esta línea de investigación es la continuación y profundización del estudio de las MHs en general y las técnicas evolutivas en particular, tema sobre el cual el grupo de investigación ha adquirido en los últimos años una importante experiencia, aplicadas a un problema de *scheduling*. Actualmente se está trabajando sobre una aplicación denominada PAE encargada de realizar la planificación y replanificación dinámica del mantenimiento preventivo de locaciones petroleras, incorporando restricciones en las visitas de mantenimiento, múltiples equipos de mantenimiento y aprendizaje de contingencias en el mantenimiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los algoritmos evolutivos (AEs) son algoritmos de optimización estocásticos basados en el mecanismo de selección natural y genéticas naturales, son metaheurísticas que comparten un concepto base común, que es simular la evolución de los individuos que forman la población usando un conjunto de operadores predefinidos de selección y de búsqueda. Existe una gran variedad de AEs, dentro de ellos se incluyen los algoritmos genéticos, estrategias evolutivas y programación evolutiva. En este trabajo se aplican los algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos (AGs) fueron propuestos originalmente por [9]. Los AGs se han aplicado exitosamente en varios problemas de optimización de funciones y han mostrado ser eficientes en la búsqueda de soluciones óptimas o cercanas al óptimo. Tendencias actuales en AEs hacen uso de enfoques con multirecombinación [8], [7], [4] y enfoques con múltiples padres conocidos como *Multiple Crossover Multiple Parent* (MCMP) [15], [14], [16]. Los Algoritmos Evolutivos (AEs) han sido aplicados exitosamente en la resolución de diversos tipos de problemas de planificación tales como *scheduling* o *routing* [12], [17], [13]. En el marco del proyecto de investigación se está desarrollando una herramienta prototipo denominada PAE (Planificación Basada en un Algoritmo Evolutivo) que mejore las planificaciones dinámicas del mantenimiento de locaciones petroleras, teniendo en cuenta la ocurrencia de contingencias que producen interrupciones en la planificación original. Esta herramienta utiliza como motor de planificación un algoritmo evolutivo multirecombinativo que es el generador de múltiples soluciones a este problema.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas petroleras realizan visitas de mantenimiento preventivo a cada una de sus locaciones petroleras (pozos productores, inyectoras, baterías y colectores). Un yacimiento está formado por

bloques y a su vez éste por baterías. Cada batería está formada por pozos de producción que son en promedio entre 15 y 20. Cada pozo tiene diferente nivel de producción que es conocido a priori y varía en el tiempo. La producción del pozo define la categoría y la cantidad de veces que debe visitarse al mes. Los pozos no pueden ser visitados más de una vez al día y dependiendo del tipo de pozo existen ciertas tareas que se deben realizar. Cada tarea tiene asignado un determinado equipamiento necesario, una frecuencia de realización y un tiempo aproximado de su duración. Actualmente, el recorrido que realizan los encargados de las locaciones, se planifica en base a la experiencia de los mismos. La jornada laboral comienza a la mañana y se visitan las locaciones en dos turnos de tres horas. Luego de finalizado cada turno, el responsable debe regresar a la base de operaciones, realizar determinadas actividades administrativas y luego comenzar con el siguiente turno. El tiempo demandado en cada locación dependerá del tipo de la misma. Existen contingencias aleatorias que hacen que el plan de mantenimiento de un turno no se cumpla según lo planificado, produciendo la necesidad de replanificar las visitas. Cuando ocurre esto, cada responsable redefine el nuevo itinerario utilizando su experiencia.

PAE tiene por objetivos planificar las visitas a un conjunto de locaciones que: a) Minimice el tiempo total de visitas, es decir, encontrar la planificación que en menor tiempo recorra las locaciones incluyendo el tiempo de intervención en cada una de las mismas; b) Maximice la cantidad de visitas en un período de tiempo; por ejemplo, teniendo en cuenta un período de mantenimiento de un mes, que visite la mayor cantidad de veces las locaciones; c) Replanifique las visitas a partir de desviaciones en la planificación original. Frente a la ocurrencia de eventos externos que condicionan operativamente la ejecución de un plan de mantenimiento, proveer de planificaciones alternativas sin disminuir significativamente la calidad de las mismas.

### 3. SOLUCIONES PROPUESTAS

La minimización del tiempo entre cada período de inspección de las locaciones se obtiene con una mejora en la planificación del mantenimiento y esto puede ser abordado como un problema de *scheduling*. Se ha demostrado, que muchos problemas de *scheduling* pertenecen a la clase NP-hard [11] reflejando así la relevancia industrial de este tipo de problemas.

Por esta razón este problema se puede definir como [10]:

$$1|s_{jk}|C_{max}$$

Denota un problema de *scheduling* de máquina única con  $n$  tareas sujetas a tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Donde las tareas a planificar son el servicio de mantenimiento (o intervención) en cada una de las locaciones petroleras. La función objetivo es minimizar el *makespan* ( $C_{max}$ ) sujeto a los tiempos de preparación dependientes de la secuencia. El *makespan* puede calcularse como:

$$\sum_{k=1}^n s_{jk} + t_k$$

Donde existe un tiempo de traslado entre cada una de las locaciones al que se denomina  $s_{jk}$ , que representa el costo en tiempo de ir de la locación  $j$  a la locación  $k$  y  $t_k$  es el tiempo de mantenimiento en la locación  $k$ .

Para resolver el problema de planificación de recorrido de las locaciones petroleras, se utilizó un algoritmo evolutivo multirecombinativo [6], [5]. Para codificar adecuadamente las visitas a las locaciones petroleras que representan una posible solución, se utilizó una permutación  $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , donde cada una de ellas, es un cromosoma en el cual  $p_i$  representa la locación  $i$  que debe ser visitada

y  $n$  representa la cantidad de locaciones a visitar. El cromosoma establece el orden de la secuencia a seguir para visitar cada locación. El algoritmo buscará la mejor permutación posible, a fin de obtener la planificación óptima que satisfaga los objetivos.

Además de la obtención de la mejor planificación posible se analizaron distintas soluciones frente a replanificaciones con y sin restricciones:

- Caso 1 : Frente a la ocurrencia de una contingencia, que causa la interrupción de una planificación se llevaron a cabo las siguientes formas de replanificar las locaciones remanentes [3]:
  - Las locaciones que no se pudieron visitar son replanificadas al final de la planificación original.
  - Replanificar siguiendo el orden de la secuencia original restante.
  - Replanificar las locaciones restantes usando el algoritmo propuesto.
- Caso 2: Incorporar en la replanificación visitas obligatorias a ciertas locaciones en el próximo turno, las cuales no fueron visitadas aún, provocando esto un conjunto de restricciones [2].
- Caso 3: Se tiene en cuenta que existen locaciones que deben ser visitadas más de una vez lo cual implica incorporar restricciones. Para ello se definieron dos tipos de restricciones [1]:
  - Restricción dura: toda solución obtenida que no cumpla con este tipo de restricción es considerada no factible y por lo tanto debe ser reparada o eliminada. Para este caso, las locaciones que deben ser visitadas más de una vez no pueden ser planificadas en el mismo turno.
  - Restricción blanda: la solución es factible (es decir, cumple con la restricción dura) pero sin embargo no cumple con la diferencia de tiempo entre una visita y otra. Por ejemplo, la solución planifica las dos visitas a una locación en turnos diferentes, pero el tiempo transcurrido entre ambas visitas no es el establecido en la restricción (ocho horas).

## 4. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

PAE es una aplicación que tiene como objetivo ser una herramienta eficaz que facilite la planificación dinámica del mantenimiento de locaciones petroleras. Del análisis y las comparaciones realizadas con los planes de mantenimiento ejecutados, PAE ofrece las siguientes ventajas comparativas:

- En cuanto a la calidad de las soluciones, PAE presenta planificaciones que mejoran el plan de mantenimiento producido por expertos, reduciendo el tiempo total de una planificación tipo, con la correspondiente reducción de costos. Sin embargo, este beneficio puede también analizarse desde otra perspectiva, ya que reduciendo el tiempo total de intervención se pueden por lo tanto realizar más cantidades de visitas en las locaciones en un determinado período. Con ello se logra disminuir la probabilidad de caída de la producción y por lo tanto maximizar la producción total.
- Los AEs son algoritmos estocásticos (no determinísticos) que producen múltiples soluciones en diferentes corridas independientes. A menudo una solución mejor (plan de mantenimiento) no puede ejecutarse por determinadas condiciones operativas, por lo tanto es necesario seleccionar otra que si bien puede no ser tan buena como la anterior es factible de ejecutarse.
- Otro aspecto, que suele ser muy importante es la flexibilidad de producción de planes de mantenimiento, ya que frecuentemente se producen cambios, incorporando o eliminando locaciones en la producción del yacimiento. Para ello PAE facilita un ambiente flexible que permite incorporar cambios en la planificación sin que ello represente la intervención de expertos.

- Por último, frente a la incorporación de restricciones en las visitas de mantenimiento, PAE no presenta degradación en la solución; generando planificaciones que satisfacen las restricciones y mantienen la calidad de los resultados [1], [2].

Los trabajos futuros están orientados en la incorporación de:

- Múltiples equipos: es posible que de la base petrolera pueda salir más de un equipo de mantenimiento y por este motivo el algoritmo debe realizar las planificaciones correspondientes a cada equipo disponible. Este tipo de característica puede representarse como un problema de máquinas idénticas en paralelo [10] donde existen  $m$  máquinas idénticas en paralelo y  $n$  tareas. Cada tarea requiere una única operación y puede procesarse en cualquiera de las  $m$  máquinas.
- Aprendizaje de contingencias en el mantenimiento: actualmente se cuenta con grandes volúmenes de datos en bases de datos que proveen información acerca de los resultados de mantenimientos realizados en las locaciones. Esta es una fuente de información para la optimización del proceso de mantenimiento y por lo tanto el descubrimiento de conocimiento implícito puede ser recuperado para aprender sobre contingencias del mantenimiento de las locaciones petroleras y luego ser incorporadas como mejoras al plan.

Además se está analizando la posibilidad de adaptar el algoritmo propuesto a un problema de logística de transporte.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de la Patagonia Austral por su apoyo al grupo de investigación y la cooperación.

## REFERENCIAS

- [1] Villagra A., Montenegro C., de San Pedro M., Lasso M., and Pandolfi D. Planificación con restricciones del mantenimiento de locaciones petroleras. In *XII RPIC - Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, 2007.
- [2] Villagra A., Montenegro C., de San Pedro M., Lasso M., and Pandolfi D. Restricciones en la replanificación del mantenimiento de locaciones petroleras. In *Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*, 2007.
- [3] Villagra A., de San Pedro M.E., Lasso M., Montenegro C., and Pandolfi D. Evolutionary algorithm for the oil fields preventive maintenance scheduling. In *Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, USA, July 2007.
- [4] Eiben A.E., van Kemenade C. H. M., and Kok J. N. Orgy in the computer: multi-parent reproduction in genetic algorithms. In *94*, page 10. Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), 31 1995.
- [5] Pandolfi D., de San Pedro, Vilanova G., Villagra A., and Gallard R. Studs mating immigrants in evolutionary algorithms to solve the earliness-tardiness scheduling problem. *Cybernetics and Systems of Taylor and Francis Journal*, 33(4):391–400, June 2002.

- [6] Pandolfi D, Lasso M., de San Pedro M., Villagra A., and Gallard R. Knowledge insertion: an efficient approach to reduce search effort in evolutionary scheduling. *Journal of Computer Science and Technology*, 4(2):109–114, 2004.
- [7] Eiben A E., Raué P.-E., and Ruttkay Zs. Genetic algorithms with multi-parent recombination. In Yuval Davidor, Hans-Paul Schwefel, and Reinhard Männer, editors, *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN III*, pages 78–87, Berlin, 1994. Springer.
- [8] Eiben A. E. and Back T. Empirical investigation of multiparent recombination operators in evolution strategies. *Evolutionary Computation*, 5(3):347–365, 1997.
- [9] Holland J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Michigan Press, 1975.
- [10] Pinedo M. *Scheduling: Theory, Algorithms and System*. Prentice Hall, first edition edition, 1995.
- [11] Brucker P. *Scheduling Algorithms*. New York. Springer-Verlag, 3rd Edition, 2004.
- [12] Chang P., Hsieh J, and Wang Y. Genetic algorithm and case-based reasoning applied in production scheduling. *Knowledge Incorporation in Evolutionary Computation*, pages 215–236, 2005.
- [13] Jaskowski P. and Sobotka A. Multicriteria construction project scheduling method using evolutionary algorithm. *Operational Research an International Journal*, 6(3), 2006.
- [14] Esquivel S., Leiva A., and Gallard R. Couple fitness based selection with multiple crossover per couple in genetics algorithms. pages 78–87, Berlin, 1994. Springer.
- [15] Esquivel S., Leiva A., and Gallard R. Multiple crossover per couple in genetic algorithms. In *Fourth IEEE Conference on Evolutionary Computation*, pages 103–106, Indianapolis, USA, April 1997.
- [16] Esquivel S., Leiva A., and Gallard R. Multiple crossovers between multiple parents to improve search in evolutionary algorithms. In *Congress on Evolutionary Computation*, pages 1589–1594, Washington DC, 1999. IEEE.
- [17] Guo Y. and Lingle R. Solving the airline crew recovery problem by a genetic algorithm with local improvement. *Operational Research an International Journal*, 5(2), 2005.